

В. В. Минин

В. В. Минин

# КОНЦЕПЦИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УНИВЕРСАЛЬНЫХ МАЛОГАБАРИТНЫХ ПОГРУЗЧИКОВ

Монография

Концепция повышения эффективности универсальных  
малогабаритных погрузчиков

Политехнический институт



СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
SIBERIAN FEDERAL UNIVERSITY

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**В. В. Минин**

**КОНЦЕПЦИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
УНИВЕРСАЛЬНЫХ МАЛОГАБАРИТНЫХ  
ПОГРУЗЧИКОВ**

Монография

Красноярск  
СФУ  
2012

УДК 621.878.4  
ББК 39.9  
М618

Рецензенты:

*В. С. Исаков*, д-р техн. наук, проф., зав. каф. «Строительные, дорожные и коммунальные машины» Южно-Российского государственного технического университета (Новочеркасского политехнического института);

*В. М. Рогожкин*, д-р техн. наук, проф., акад. Российской академии проблем качества, зав. каф. «Строительные и дорожные машины и оборудование» Волжского института строительства и технологий Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета

**Минин, В. В.**

М618      Концепция повышения эффективности универсальных малогабаритных погрузчиков : монография / В. В. Минин. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2012. – 304 с.  
ISBN 978-5-7638-2529-9

Рассмотрены возможности и ограничения повышения эффективности универсальных малогабаритных погрузчиков с бортовым поворотом путем совершенствования конструктивной схемы и оптимизации параметров подсистем привода. Представлен новый метод обоснования параметров, принимаемых к оптимизации, базирующийся на априорной и апостериорной информации. Даны критерии оценки эффективности и комплексной оптимизации параметров машин на ранних стадиях проектирования. На основе физико-математического моделирования и статистического анализа значений конструктивных и эксплуатационных параметров машин показаны перспективы дальнейшего развития конструкций и технологических схем работы данного класса машин со сменными рабочими органами. Приведена методика и результаты экспериментальных исследований параметров динамического нагружения машины.

Предназначена для научных и инженерно-технических работников, а также студентов, магистрантов и аспирантов направления подготовки 190100 «Наземные транспортно-технологические машины и комплексы».

УДК 621.878.4  
ББК 39.9

ISBN 978-5-7638-2529-9

© Сибирский федеральный университет, 2012

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>5</b>
<b>Глава 1. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ УНИВЕРСАЛЬНЫХ МАЛОГАБАРИТНЫХ ПОГРУЗЧИКОВ .....</b>	<b>8</b>
1.1. Конструктивные исполнения и классификация УМП .....	9
1.2. Типоразмеры и объемы выпуска машин .....	17
<b>Глава 2. МЕТОДОЛОГИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ .....</b>	<b>25</b>
2.1. Методы оценки эффективности машин .....	25
2.2. Методика определения структуры математической модели .....	32
2.3. Критериальные функции для оценки эффективности и технического уровня УМП .....	39
<b>Глава 3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ИСПОЛНЕНИЙ ПОДСИСТЕМ ПРИВОДА .....</b>	<b>50</b>
3.1. Анализ и перспективы развития приводов исполнительных механизмов .....	50
3.2. Критерии оценки эффективности вариантов исполнения и оптимизации параметров гидропривода .....	60
3.3. Оценка конструктивных параметров привода .....	64
<b>Глава 4. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ, ПРИНИМАЕМЫХ К ОПТИМИЗАЦИИ .....</b>	<b>71</b>
4.1. Выбор оптимизируемых параметров .....	72
4.2. Формирование системной модели взаимосвязи конструктивных параметров .....	80
4.3. Анализ результатов исследований .....	94
<b>Глава 5. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ .....</b>	<b>101</b>
5.1. Модель энергопотребления машины .....	101
5.2. Выбор теории прочности .....	106
5.3. Модель оптимизации массы гидроагрегатов .....	109
5.4. Модель стоимости гидроагрегатов .....	114
5.5. Модель КПД объемного гидропривода .....	118
5.6. Модель теплового режима объемного гидропривода .....	126
5.7. Модель оптимизации стрелоподъемного механизма .....	129

5.8. Метод оптимизации параметров гидропривода .....	132
5.9. Статистическое моделирование параметров .....	132
<b>Глава 6. НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКТИВНОЙ СХЕМЫ .....</b>	<b>139</b>
6.1. Повышение производительности .....	139
6.2. Снижение материалоемкости .....	144
6.3. Повышение КПД подсистем привода .....	146
6.4. Расширение функциональных возможностей.....	148
<b>Глава 7. РАСЧЕТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖИТЕЛЯ, ОСНАЩЕННОГО РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ .....</b>	<b>158</b>
7.1. Постановка задачи .....	158
7.2. Математическая модель с учетом голономных связей .....	163
7.3. Физико-математическая модель с учетом неголономных связей .....	171
<b>Глава 8. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ .....</b>	<b>179</b>
8.1. Результаты исследований на физической модели .....	179
8.2. Результаты исследований нагружения натуральных образцов .....	181
8.3. Результаты исследований на стенде рабочих органов ударного действия .....	185
<b>Глава 9. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ .....</b>	<b>192</b>
9.1. Результаты оптимизации параметров исполнительного механизма подъема-опускания стрелы .....	192
9.2. Результаты оптимизации конструктивной схемы и параметров объемного гидропривода .....	195
9.3. Оценка эффективности УМП на основе критериального анализа.....	199
9.4. Эластичность критериев и точность оптимизации .....	209
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>222</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>227</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ .....</b>	<b>252</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Универсальные малогабаритные погрузчики с бортовым поворотом (УМП) изобретены и внедрены в практику выполнения транспортно-технологических операций в середине XX в.

Первая машина, ставшая прототипом современного УМП, была произведена в 1957 г. компанией Merloe (США). На рынке она появилась под маркой Bobcat. Изобретатели погрузчика – братья Келлер решали задачу механизации работ по очистке индюшатников, где необходимы технологические операции в стесненных условиях и при ограничении по давлению на опорную поверхность.

Сегодня свыше 40 фирм Австралии, Великобритании, Германии, Италии, Канады, России, Словакии, США, Японии и других стран производят УМП как для внутреннего, так и для внешнего рынка. По некоторым оценкам, половина годового выпуска УМП поставляется на рынок под маркой Bobcat.

Данный тип мини-машин является наиболее представительным благодаря наличию большого количества сменных рабочих органов и возможности их быстрой смены, экономичности, высокой мобильности и маневренности, а также простоте управления. Такие погрузчики зарекомендовали себя как необходимое средство механизации для малых объемов работ на различных рассредоточенных объектах и составляют конкуренцию по эффективности применения машинам средней и большой мощности. В настоящее время в мире ежегодно производится свыше 100 тыс. УМП, которые используются во многих отраслях: при строительстве и реконструкции зданий и сооружений, в дорожном, коммунальном и сельском хозяйстве и т.д. В России начали активно применять УМП в 1990-х гг., что было связано со становлением рыночных отношений и необходимостью модернизации промышленного сектора экономики.

Существенными недостатками, снижающими эффективность УМП, являются: короткое базовое шасси, ограничивающее грузоподъемность; высокая динамическая нагруженность машины и плохая управляемость машины на твердых скользких поверхностях; жесткое, безрессорное крепление колес к раме; закрытое капотом пространство энергетической установки и гидропередач, снижающее теплообмен с окружающей средой; значительные ресурсо- и энергозатраты на обеспечение бортового поворота; затрудненный и небезопасный вход в кабину оператора со стороны рабочего оборудования, снижающий эффективность эксплуатации машин; ограниченный срок службы шин и др.

Ведущие фирмы-изготовители постоянно совершенствуют конструктивные схемы и отдельные подсистемы мини-машин, но решения, устраняющего все вышеперечисленные недостатки, пока не найдено.

Значительное количество (около 70 наименований) дополнительного сменного оборудования циклического и непрерывного действия усложняет задачу определения приемлемого оптимального варианта сочетания конструктивных параметров, обеспечивающих высокую эффективность вновь создаваемого образца. В связи с этим задача формирования критериев оценки эффективности для машин данного класса требует обеспечения высокой точности расчетов на ранних стадиях проектирования, когда возможно менее затратное перепроектирование образца.

Традиционная постановка задачи проектирования универсальных малогабаритных машин по теоретическим положениям и методикам, апробированным для машин среднего и тяжелого классов, не всегда применима ввиду существенной нелинейной зависимости конструктивных параметров от главного параметра машины – эксплуатационной массы.

В настоящее время УМП широко внедряются в практику в условиях Сибири и Дальнего Востока, где климатические условия существенно отличаются от европейских стран. Без усовершенствования конструкции и определения рациональных параметров область применения данных машин имеет ограничения.

Вопросам повышения эффективности, исследованию и оптимизации параметров фронтальных погрузчиков, включая УМП, посвящено большое количество научных работ, выполненных в НПО ВНИИстройдормаше, МИСИ, ЦНИИС Минтрансстроя, МАДИ, СибАДИ, ХАДИ и других организациях. В этой связи среди российских авторов следует отметить В. К. Аверьянова, Т. В. Алексееву, И. А. Алыева, В. Н. Архангельского, А. Ф. Базанова, В. В. Беляева, Ю. А. Брянского, Ю. М. Бузина, Д. П. Великанова, Л. К. Войнича, М. И. Гриффа, Г. В. Забегалова, С. А. Ивженко, В. С. Калинина, М. В. Коваленко, Б. Д. Кононыхина, Г. С. Мирзояна, П. А. Михирева, Л. В. Назарова, И. А. Недорезова, В. А. Пенчука, Ю. Д. Погуляева, Б. М. Позина, Л. В. Примака, В. М. Рогожкина, А. В. Рубайлова, И. М. Рябикову, В. Н. Тарасова, Л. А. Хмару, В. Ф. Щербакова, А. М. Щемелева, В. К. Фёдорова, Я. Е. Фаробина и др., среди зарубежных авторов – Г. Эриксона, К. Лука, Г. Модлера, Х. Хаврыляка и др.

Особый вклад в развитие методологии оценки эффективности строительных, дорожных и подъемно-транспортных машин внесли работы академиков В. И. Баловнева (МАДИ) и Е. М. Кудрявцева (МИСИ).

Несмотря на большое количество отечественных и зарубежных исследований, направленных на совершенствование конструкций одноковшовых фронтальных погрузчиков, нельзя не отметить недостаточное освещение в литературе вопросов, касающихся оптимизации конструктивной схемы и параметров универсальных малогабаритных погрузчиков с бортовым поворотом.

Отсутствие научного обоснования применения имеющихся теоретических предпосылок к оптимальному проектированию мини-машины соз-



дает определенные трудности, устранить которые позволяет разработанная автором концепция повышения эффективности УМП за счет оптимизации его конструктивных параметров.

В настоящей монографии представлены результаты исследования, цель которого состояла в разработке теоретических основ создания методов, научных и практических рекомендаций повышения эффективности УМП. Работа направлена на развитие методологии качественного и приближенного моделирования, а также аналитических и экспериментальных методов исследования на основе априорной и апостериорной информации о параметрах и рабочих процессах машин.

Ввиду сложности взаимосвязей конструктивных параметров машины и математической формализации рабочих процессов, автором принят метод определения структуры оценочных показателей на основе анализа размерностей, используется понятие поля (математическое), для которого справедливы операции умножения, деления и т.д. При моделировании, УМП рассматривается как сложная система, параметры которой имеют разную размерность. Обосновывается необходимость применения безразмерных критериев взаимосвязи конструктивных параметров с целью приведения результатов оценки и оптимизации параметров к математическим операциям, справедливым для обобщенного безразмерного поля.

Работа в данном направлении была начата в свое время под научным руководством профессора Г. С. Мирзояна на кафедре дорожно-строительных машин МАДИ, возглавляемой профессором В. И. Баловневым.

В течение 30 лет исследования в области совершенствования конструкции и параметров привода УМП проводятся в Сибирском федеральном университете (ранее Красноярский государственный технический университет). Активное участие в исследованиях принимали кандидаты технических наук В. А. Байкалов (совершенствование конструкции, проектирование и производство опытного образца), Г. С. Гришко (теоретические исследования в области совершенствования рабочего оборудования УМП), В. П. Павлов (теоретические исследования в области критериального анализа и оптимизации параметров машины), а также аспиранты и инженеры кафедры «Транспортные и технологические машины» Политехнического института СФУ.

Автор выражает благодарность за научные консультации, позволившие улучшить качество проводимых исследований, профессору М. В. Носкову, а также рецензентам – профессорам В. М. Рогожкину и В. С. Исакову за ценные критические замечания.

Предлагаемые в монографии методы оценки технического уровня и оптимизации параметров УМП на стадии проектирования могут быть полезны при проектировании других типов транспортных и технологических универсальных машин с объемным гидроприводом.